

# Análise espaço-temporal dos biótopos de Sapal do Estuário do Sado (1995-2005)

Carlos Neto<sup>4</sup>, Francisco Gutierrez<sup>1</sup>, Maria Eugénia Moreira<sup>1</sup>, José Carlos Costa<sup>5</sup>

**RESUMO:** Estudámos a dinâmica dos ecossistemas de sapal baixo e de sapal alto no Estuário do Sado, que se prevê ser uma das áreas húmidas do litoral de Portugal, mais afectadas pelos impactos negativos da elevação relativa do nível do mar. Utilizámos ortofotomapas com imagens em diferentes datas, para avaliar a evolução da área ocupada pelos sapais alto e baixo. Foram seleccionadas áreas com maior e menor exposição à ondulação lacustre do estuário. Verificámos, nas áreas mais expostas, valores de 20% de redução no sapal alto, entre 1995 e 2005, e de 90% no sapal baixo. Nas áreas com exposição moderada, os valores do recuo foram mais baixos no sapal alto (8%) e no sapal baixo (51%). Nos locais de abrigo face à ondulação provocada pelos ventos dominantes, verificaram-se aumentos, ainda que pontuais, na área ocupada pelo sapal baixo. Este trabalho demonstra que domina a dinâmica de recuo do sapal, com diminuição da sua área de ocupação, e só de forma muito marginal e limitada, se verifica um aumento na área ocupada pelo sapal.

**Palavras-chave:** Elevação relativa do nível do mar, erosão, impacto antrópico, sapal baixo, sapal alto, Estuário do Sado.

**SUMMARY:** We studied the dynamics of the salt marshes in the Sado Estuary. This is one of the Portuguese coastal areas with a high predict negative impact of the relative sea rise level. We used aerial photos from different years to analyze the areal evolution of the high and low salt marshes. Sampled places were selected respectively with high and low exposure to the lagoon waves (lagoon seich). In high exposed areas we verified an areal reduction of 60% of the high marsh, between 1995 and 2005, and 90% of the low marsh. In median to low exposure areas the salt marsh erosion was lower (8% in the high marsh and 38% in the low marsh). In some sheltered areas we observed an increase in low salt marsh area. This work demonstrates

---

<sup>4</sup> IGOT Instituto de Geografia e Ordenamento do Território., Universidade de Lisboa, R. Branca Edmée Marques, Lisboa, cneto@campus.ul.pt

<sup>5</sup> Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, LEAF - Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food. Tapada da Ajuda 1300-049 Lisboa, Portugal. jccosta@isa.ulisboa.pt

that the erosion processes are dominant in almost salt marshes of the Sado Estuary. Only in a few areas we observed increasing results on the low salt marsh.

The salt marsh retreat is caused directly and indirectly by the anthropogenic impact, (indirectly by the sea rise level and directly by human activities like fishery, shellfish harvesting, oyster farming, etc).

The dikes, built in the last century to reclaim the high marsh inland soils, actually mainly occupied with rice fields, do not allow the increment of salt marshes through these inland areas. This would be the normal situation if dikes don't exist because mostly high salt marshes are submitted to a rise process. Due to this situation, the Sado salt marshes are compressed against the dikes and have no place to expand its area. In some areas the erosion processes have destroyed all the salt marsh area and now the lagoon waves are attacking the dike that are constantly repaired. These processes allow the decrease of the total salt marsh area, and some taxa or plant communities may become extinct or rare. The sand accumulations (sandbanks) are the only places that we observed some expansion on the low salt marsh. But in these areas, low salt marsh is only occupied by *Spartina maritima*, because other plants of low to median salt marsh have not the same sand preference like *Spartina maritima*.

**Key words:** Sea rise level, erosion, anthropogenic impact, low salt marsh, high salt marsh, Sado Estuary.

## INTRODUÇÃO

A aceleração da subida do nível do mar é vista como um dos principais impactos previstos para os ecossistemas litorais (praias, dunas, arribas e sapais). Muitos trabalhos se têm produzido por todo o mundo, sobre o impacto da elevação relativa do nível do mar nos ecossistemas litorais (MOREIRA, 1992; ELIOT *et al.*, 1999; MILLER *et al.*, 2001; van WIJNEN & BAKKER, 2001; WU *et al.*, 2002; KUMAR, 2006; CAHOON *et al.*, 2006; FERREIRA *et al.*, 2008; VAFEIDIS *et al.*, 2008; MARFAI & KING, 2008). Para além dos ecossistemas de praia e dunares, e das arribas talhadas em rochas areníticas mal consolidadas, os estuários e as lagunas costeiras são os ecossistemas onde os efeitos da subida do nível do mar são mais diversificados e afectam maiores extensões. Contudo os impactos nos ecossistemas naturais e os respectivos efeitos sócio-económicos tenderão a agravar-se nas próximas décadas (IPCC, 2007; Ferreira *et al.*, 2008). Segundo os estudos publicados até hoje, parece haver uma ligação clara entre a elevação relativa do nível do mar e as alterações climáticas. Para o IPCC (2007) uma subida de 3°C na temperatura média, acima da média verificada entre 1980-1999, poderá ter como impacto uma perda de cerca de 30% das áreas húmidas costeiras mundiais (lagunas, sapais, mangais, e planícies fluvio-marinhas subsidentes). Segundo BINDOFF *et al.* (2007), durante o século XX verificou-se uma subida global do nível do mar de  $1.7 \pm 0.5$  mm/ano, enquanto a temperatura da superfície dos oceanos subiu 0.6°C desde 1950, associada ao aquecimento da atmosfera nas áreas costeiras. Em 2001 os valores de subida do nível do mar na costa atlântica dos Estados Unidos estavam estimados em 0.6-4 mm/ano (STEVENSON *et al.*, 1986; WARRICK *et al.*, 1996). Segundo MILLER (2001), é espectável que essa taxa de subida seja incrementada com a fusão dos glaciares e a expansão dos oceanos (HOFFMAN, 1984; MILLIMAN & HAQ, 1996). As várias projecções contemplam, ainda, um exacerbar das consequências em função da dimensão das pressões

induzidas pela acção antrópica sobre as áreas costeiras. Em Portugal FERREIRA *et al.* (2008) referem que, nos ecossistemas litorais portugueses, os impactos sócio-económicos vão ser mais evidentes nos estuários do Sado e do Tejo e nas lagunas costeiras de Aveiro e da Ria Formosa. No caso do Estuário do Sado a diminuição da área ocupada pelo sapal tem sido muito evidente nas últimas décadas e está a conduzir à erosão e desaparecimento de grandes manchas de sapal baixo, principalmente nas áreas mais expostas à ondulação lagunar. Desaparecido o sapal baixo a erosão ataca directamente o sapal alto no qual se define uma escarpa de erosão que vai recuando devido ao efeito de sapal abaixo do sistema radicular das plantas (MOREIRA, 1992).

É difícil separar o efeito da elevação do nível do mar, do efeito de subsidência que caracteriza o Estuário do Sado (MOREIRA, 1992; FERREIRA *et al.*, 2008). Esta dificuldade em separar a contribuição dos vários factores que intervêm na erosão das áreas costeiras (subida do nível do mar, fenómenos de subsidência ou outros impactos antrópicos como o exploração de mariscos, pesca, etc.) está documentada para várias áreas do mundo (HANSOM, 2001; JACKSON *et al.*, 2002; BURKETT *et al.*, 2005; WOLTERS *et al.*, 2005) dificultando a percepção exacta do contributo das alterações climáticas e consequente subida do nível do mar. No caso do Estuário do Sado as três situações são referidas por MOREIRA (1992) como responsáveis pela erosão e recuo dos sapais. Segundo esta autora, à subida do nível do oceano é necessário acrescentar a subsidência do estuário e as actividades antrópicas de pesca, colheita de bivalves e isco para a pesca e a exploração de ostras.

Outro factor que vem ampliar o efeito da subida do nível do mar é o da ondulação lagunar lagoonal seich que é particularmente actuante durante o Verão sob o efeito da Nortada, gerando ondas baixas, que podem chegar a um metro de altura. Esta ondulação é comandada pela canalização dos ventos de NW (nortada) durante o Verão, promovida pelo canal da Marateca. Esta ondulação tem uma orientação Norte e devido à posição do canal da Marateca face ao eixo principal do Estuário do Sado, e vai incidir no sector Norte e Noroeste da Ilha do Cavalo e nos sapais entre a Carrasqueira e Moitinhas. Verifica-se, também, a canalização da Nortada pela depressão entre o morro de Palmela e a Serra do Louro, segundo um esquema estudado por NETO (2000). No entanto, este fluxo, embora forte, não tem um efeito tão evidente na ondulação e na erosão do sapal como o fluxo canalizado pelo canal da Marateca e afecta fundamentalmente a parte mais ocidental do Estuário.

Um fenómeno que está documentado em diversos trabalhos, como ocorrendo paralelamente à subida do mar e acompanhando esta, é a progressão vertical do sapal. Este fenómeno permite a manutenção de uma situação de equilíbrio entre a subida do nível do mar e o incremento da elevação por deposição de sedimentos inorgânicos e matéria orgânica produzida *in situ* (LYNCH *et al.*, 1989; ROTH *et al.*, 2003; CAHOON & TURNER, 1989; BOUMANS & DAY, 1993; CAHOON *et al.*, 2002). Este equilíbrio permite que não se verifique uma transformação do sapal alto em sapal baixo. WIJNEN (2001) verificou taxas de acreção entre 0-11 mm/ano para sapais da costa Holandesa como consequência de um aumento da frequência de inundações. Segundo PETHICK (1981) serão necessários cerca de 100 anos de estabilidade do nível do mar para que se possa atingir uma situação de equilíbrio no sapal. MOREIRA (1992) verificou para Estuário do Sado taxas de acreção vertical entre 0.8 e 106 mm/ano com uma média de 1.9 mm/ano no período 1978-1989. Segundo o referido trabalho esta taxa de acreção é suficiente para manter o equilíbrio com o ritmo de subida do nível do

mar. A situação preocupante revela-se na taxa de recuo da escapa de erosão do sapal a qual é particularmente elevada (17 cm/ano de média no período 1978-89 e 1983-89).

Este trabalho tem como objectivo analisar a situação de erosão e recuo dos sapais do Estuário do Sado em datas posteriores (1995-2005) ao período de análise de MOREIRA (1992) (1978-1989). Para além de pretendermos verificar a evolução das taxas de recuo do sapal, pretendemos o estudo da distribuição espacial dessas mesmas taxas do balanço sedimentar, e, desta forma, verificar qual o contributo da maior ou menor exposição à ondulação dominante, e de maior poder morfogenético (de norte) do interior do Estuário do Sado lagoonal seich.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A cartografia temática dos biótopos de sapal alto e baixo para as áreas seleccionadas (abrigada e exposta à ondulação dominante) foi efectuada por fotointerpretação (incluindo validação no terreno) com recurso ao software ArcGIS 9.2, para o período compreendido entre 1979 e 2005. Os ortofotomapas foram facultados pelo Instituto Geográfico Português (IGP).

Ao nível da interpretação visual das imagens, e de acordo com a finalidade do estudo, foram analisadas as áreas de sapal (alto e baixo) na região do visível e ainda na região do infravermelho próximo. Este último permitiu uma boa definição das áreas húmidas, em particular as zonas inundáveis de sapal, dos canais de maré, dos cursos de água e dos limites da área continental.

Em termos de generalização cartográfica automática, para assegurar a legibilidade da informação geográfica como produto cartográfico, foram utilizadas algumas operações de geoprocessamento de modo a obter as áreas de acreção, erosão e estabilidade dos biótopos de sapal.

Adoptou-se a classificação de sapal baixo e sapal alto (do ponto de vista geomorfológico e ecológico) de MOREIRA (1987).

Para os nomes científicos das espécies foi adoptada a nomenclatura de CASTROVIEJO *et al.* (1986-2006), FRANCO (1971,1984) e FRANCO & ROCHA AFONSO (1994, 1998, 2003).

## **RESULTADOS**

Da comparação de vários ortofotomapas de diferentes datas (1979, 1995 e 2005) concluímos que a dinâmica dos sapais baixo e alto do Estuário do Sado é claramente de erosão e recuo acentuado. Contudo há uma evidente desigualdade entre as diferentes áreas estudadas, em função da maior ou menor exposição à ondulação dominante e de maior poder morfogenético dentro do Estuário do Sado e também em função da dinâmica da acção antropogénica. No que respeita à ondulação, pode concluir-se que é principalmente a ondulação induzida pelos ventos do quadrante norte que apresenta maior altura (cerca de um metro) e portanto maior poder morfogenético (MOREIRA, 1992). Segundo esta autora, a ondulação oceânica não penetra no interior do estuário. Em situação de vento do quadrante Norte (dominante no litoral ocidental de Portugal Continental) verifica-se uma canalização

deste pelo canal da Marateca (MOREIRA, 1992) e também pelo vale de Setúbal (NETO, 2000) e como resultado temos uma ondulação de tipo lagoonal seich (Figura 1) que é responsável, em grande parte, pelo escavamento de sapas basais, seguido de colapso da parte superior, resultando daí um recuo da frente do sapal alto, com as taxas que o nosso estudo evidenciou. A direcção das cristas das ondas lagunares, no Canal da Marateca, Carrasqueira e Península de Tróia, estão marcadas na Figura 1 (A, B e C, respectivamente); o seu traçado foi feito sobre o ortofotomapa de 1999 (28 e 29 de Junho de 1999 entre as 11:00 e as 13:00) numa situação em que o rumo do vento na costa ocidental era de noroeste. No Canal da Marateca e como resultante da canalização promovida por este canal as cristas das ondas apresentam direcções compreendidas entre N40°E e N60°E (Figura 1 - A). Este tipo de ondulação vai afectar os sectores Norte e Oeste (devido à difracção) dos sapais da ilha do Cavalo (também afectados pelas correntes de vazante e fluvial) e ainda os sapais da margem Sul do Estuário do Sado compreendidos entre a Carrasqueira e Moitinhas (Figura 1 - B). No sector mais ocidental do estuário a ondulação induzida pelos ventos do Canal da Marateca perde significado e são principalmente os ventos canalizados pela depressão entre o Morro de Palmela e a Serra do Louro que fazem sentir o seu efeito. No entanto o efeito deste fluxo parece ser relativamente limitado pois só se faz sentir de forma evidente na ponta norte da Península de Tróia e perde rapidamente força para Sul por motivo da entrada de um fluxo de oeste devido à diferença de temperaturas entre a água do mar (mais fria) e a água do estuário (mais quente) (NETO, 2000).

Desta forma verificamos que no dia de análise da ondulação, a orientação das cristas das ondas no litoral arenoso da Península de Tróia, no sector oceânico da referida península, é claramente de oeste N260°E como resultado da difracção da ondulação de NO dominante na costa ocidental, promovida pelo Cabo Espichel (Figura 1 - C). Assim a acção da ondulação induzida pela canalização do vale de Setúbal vai fazer-se sentir em todo o sector lagunar da Península de Tróia desde a ponta norte da península, para sul, até próximo da Malha da Costa. No ortofotomapa observam-se claramente as acumulações arenosas sob a forma de pequenas restingas que se prolongam a partir da ponta da Malha da costa para sul limitando exteriormente o sapal que se desenvolve de encontro ao sector interior da Península de Tróia até à Comporta.

Como resultado do efeito combinado da ondulação induzida pelo fluxo canalizado pelo Canal da Marateca e pelo fluxo do vale de Setúbal obtivemos valores de recuo do sapal substancialmente diferentes entre as várias áreas analisadas. A área de análise correspondente aos sapais da Comporta (Figura 1- Sector 1) pode considerar-se, face à ondulação induzida pelos dois fluxos referidos (com maior poder morfogenético), como uma situação de abrigo. Desta forma os sapais alto e baixo têm taxas de recuo substancialmente mais baixas (51% para o sapal baixo e 8% para o sapal alto entre 1995 e 2005) do que nas áreas de forte exposição à ondulação. As taxas de recuo na área da Comporta estão essencialmente condicionadas por uma forte influência da maré e pela corrente vida de norte (enchente). Todo o sector da Carrasqueira (Figura 1- Sector 2) é uma área fortemente exposta à ondulação dominante e de maior poder morfogenético e como tal os valores de recuo de sapal baixo (90% entre 1995 e 2005) e do sapal alto (20% entre 1995 e 2005) (Figura 2) são substancialmente mais elevados do que o sector da Comporta (área abrigada com dinâmica de maré e transgressão dunar, local). Dever referir-se que no caso da Carrasqueira a exposição face à ondulação dominante não é o único factor que explica os elevados valores de recuo observados. Há claramente uma influência antrópica (MOREIRA, 1986) associada às actividades de pesca principalmente no século

passado em que as caixas do pescado, próximo do porto palafítico, eram transportadas sobre o sapal. Por outro lado é necessário associar as actividades de exploração de marisco, recolha de bivalves e criação de ostras, apanha de isco para a pesca desportiva e ainda a reparação de barcos sobre o sapal.

Por último, o terceiro sector estudado, correspondente à Ilha do Cavalo (Figura 1- Sector 3), exhibe um comportamento diferente em função da maior ou menor exposição dos seus diferentes sectores. Assim separámos os sectores norte, noroeste e oeste (expostos à ondulação dominante) onde verificámos taxas elevadas de recuo de sapal (59% para sapal alto e 74% para o sapal baixo entre 1979 e 1995), dos sectores este, sudeste e sul (abrigados face à ondulação dominante) onde verificámos uma franca progressão do sapal baixo (42%) principalmente de 1979 para 1995 (Figuras 3 e 4). Este fenómeno de progressão é evidente no sapal baixo devido à acumulação de sedimentos arenosos e também vasosos, transportados pelo canal da Ilha do Cavalo (entre a Ilha do Cavalo e a Herdade do Pinheiro) e pelo canal principal, do Sado. Esta acumulação de sedimentos no sector este e sudeste da Ilha do Cavalo é responsável pela progressão do sapal baixo de *Spartina maritima* que ocupa rapidamente as acumulações arenosas como se evidencia na comparação dos ortofotomapas de 1979 e 1995. Em 1979 o sector Este da Ilha do Cavalo exibía apenas algumas manchas isoladas de *Spartina maritima* com pouca extensão e amplos espaços lodosos ou areno-lodosos sem vegetação. Nesta data o sapal alto ocupava apenas uma pequena extensão de encontro ao dique de protecção da Ilha do Cavalo. Esta situação de diferente morfogénese é o resultado de muitos anos em que o canal era aprofundado artificialmente. Com a assinatura da convenção Ramsar por Portugal em 1980, esta prática veio a ser abandonada e, como consequência, verificou-se um rápido assoreamento do canal e deposição de sedimentos numa extensa plataforma imediatamente a leste do dique oriental da Ilha do Cavalo. A rápida subida desta plataforma levou a uma rápida ocupação pelo sapal baixo de *Spartina maritima* (*Spartinetum maritimae*). De 1995 para 2005 parece ter havido uma estabilização da extensão do sapal baixo e portanto o ritmo de expansão foi substancialmente mais baixo do que na década anterior. Nas acumulações recentes de areia, formam-se povoamentos puros de *Spartina maritima* de formato perfeitamente circular colonizando estas pequenas ilhotas arenosas que vão crescendo radialmente do centro para a periferia.

Nas áreas mais interiores do sapal baixo as condições de sedimentação favoráveis levam a uma subida da superfície topográfica, e, como consequência instalam-se espécies características da associação *Puccinellio ibericae-Sarcocornietum perennis* (*Limonium vulgare*, *Sarcocornia perennis*, *Puccinellia iberica*, *Halimione portulacoides*, *Suaeda albens*) própria dos níveis mais elevados do sapal baixo, já em situação de transição para o sapal alto (MOREIRA, 1987; NETO *et al.*, 2005)

## CONCLUSÕES

Embora se conclua, dos trabalhos realizados por PSUTY & MOREIRA (2000) que o fenómeno de recuo acelerado dos sapais em todo o Estuário do Sado, correlacionado com a subida do nível do mar é um fenómeno recorrente, existe no actual processo um dado novo que é toda a ocupação antrópica das margens do estuário que não facilitam a expansão dos sapais para o interior do continente. O modelo desenvolvido por PSUTY & MOREIRA (2000) refere um avanço rápido do nível do mar até 2600 anos B.P. com uma velocidade de 2 mm/ano, idêntica à que actualmente se verifica segundo

DIAS & TABORDA (1992) e MOREIRA (1992). Desta situação passada e entrando em consideração que a estabilidade que se define a partir de 2600 anos B.P. levou à expansão do sapal para o interior do estuário, poderíamos concluir que a actual situação de subida rápida do nível do mar a ritmos idênticos aos do passado, conduzirá a uma nova situação de equilíbrio no futuro, num nível do mar mais elevado que o actual e com expansão horizontal do sapal. No entanto estamos perante uma situação totalmente nova e bem diferente daquela que é documentada por PSUTY & MOREIRA (2000) entre 7000 e 2600 anos B.P. A ocupação humana das áreas envolventes ao Estuário do Sado e principalmente os diques que, inicialmente, desde o início da ocupação Romana, foram sendo construídos para formar salinas (máximo desenvolvimento no final a Idade Média) e depois foram sendo construídos para criar pastagens salgadas e campos de cultura (arroz), estão a comprimir os sapais que ainda vão restando, contra estas estruturas construídas. Desta forma as elevadas taxas de recuo do sapal verificadas neste trabalho fazem crer que muitas das comunidades de sapal poderão estar condenadas ao desaparecimento nas próximas décadas. Na verdade, calcula-se que 98% da superfície inicial do sapal inicial de há 2000 anos, tenha desaparecido. Actualmente, em alguns sectores do estuário o desaparecimento do sapal faz com que a ondulação lagunar já incida directamente nos diques que protegem os terrenos recuperados à faixa entremarés, e mesmo algumas mais interiores, da planície aluvial. Se a política de ordenamento destas áreas continuar a ser a de colocar barreiras de protecção e reforçar ciclicamente as já existentes, poderemos estar perante uma situação em que, não só a dinâmica natural do sapal não se pode cumprir, como este estará condenado a uma extinção com o consequente desaparecimento de algumas espécies ou diminuição da diversidade genética dentro das populações. Este fenómeno não é exclusivo das áreas de sapais, e é recorrente em quase todos os ecossistemas terrestres onde a acção humana se interpõe e impede a dinâmica natural (movimentação de indivíduos entre populações, de propágulos e de fluxos genéticos). Neste caso, a acção antrópica, ao impedir o avanço das águas para o interior do continente, não está a possibilitar a migração das comunidades de sapal para o interior, conquistando os terrenos de cota mais baixa que lhe foram retirados, e que, com solos salinos, que tendem para uma crescente alcalinização nos períodos secos (estacionais ou anuais) devida à elevação da intrusão salina nos aquíferos, e à deficiência de água doce, apresentam baixa produtividade agrícola. Este facto, extensível a todas as áreas húmidas litorais do país, conduzirá a uma dinâmica de extinção, principalmente dos sapais baixo e alto. Na paisagem resultante, não só se terão perdido taxa e diversidade genética impossível de recuperar, como os custos em estruturas de protecção dificilmente serão economicamente compensadoras.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

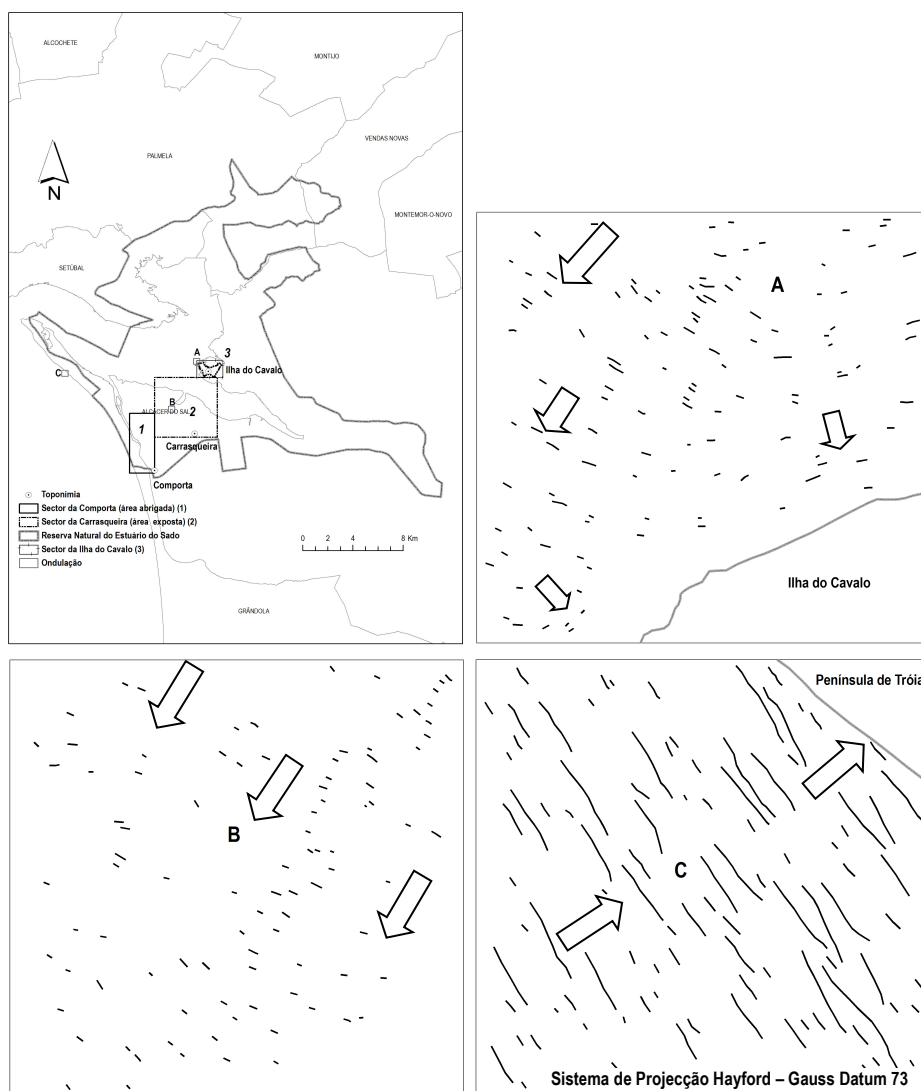
BINDOFF, N.; WILLEBRAND, J.; ARTALE, V.; CAZENAVE, A.; GREGORY, J.; GULEV, S.; HANAWA, K.; LEQUÉRE, C. & Co-authors. (2007) - Observations: Oceanic climate change and sea level. Climate Change 2007. In S. SOLOMON; D. QIN; M. MANNING; Z. CHEN; M. MARQUIS; K.B. AVERYT; M. TIGNOR; H.L. MILLER (eds.) - *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: 385-432. Cambridge University Press, Cambridge.

- BOUMANS, R. M. & DAY JR, J. W. (1993) - High precision measurements of sediment elevation in shallow coastal areas using a sedimentation-erosion table. *Estuaries* **16**: 375-380.
- BURKETT, V. R.; WILCOX, D. A.; STOTTLEMEYER, R.; BARROW, W.; FAGRE, D.; BARON, J.; PRICE, J.; NIELSEN, J. & Co-authors. (2005) - Nonlinear dynamics in ecosystem response to climate change: Case studies and policy implications. *Ecological Complexity* **2**: 357-394.
- CAHOON, D. R.; HENSEL, P. F.; SPENCER, T.; REED, D. J.; MCKEE, K. L. & SAINTILAN, N. (2006) - Coastal wetland vulnerability to relative sea-level rise: Wetland elevation trends and process controls. p. 271-292. In VERHOEVEN, J. T. A.; BELTMAN, B.; BOBBINK, R.; WHIGHAM, D. (eds.). *Wetlands and Natural Resource Management. Ecological Studies* Volume 190, Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg.
- CAHOON, D. R.; LYNCH, J. C.; PEREZ, B. C.; SEGURA, B.; HOLLAND, R. D.; STELLY, C.; STEPHENSON, G. & HENSEL, P. (2002) - High-precision measurements of wetland sediment elevation: II. The Rod Surface Elevation Table. *Journal of Sedimentary Research* **72** (5): 734-739.
- CAHOON, D. R. & TURNER, R. E. (1989) - Accretion and canal impacts in a rapidly subsiding wetland. II. Feldspar marker horizon technique. *Estuaries* **12** (4): 260-268.
- CASTROVIEJO, S., LAÍNIZ, M., LÓPEZ GONZÁLEZ, G., MONSERRAT, P., MUÑOZ GARMENDIA, F., PAIVA, J. & VILLAR, L., (ed.). (1986-2007) - *Flora Iberica*. Volumes I-VIII, X, XIV, XV, XVIII, XXI. Madrid: Real Jardín Botánico de Madrid, CSIC.
- DIAS, J. A. & TABORDA, R. (1992) - Tide-gauge data in deducing secular trends of relative secular trends of relative sea level and crustal movements in Portugal. *Journal of Coastal Research* **8**: 655-659.
- ELIOT, I.; FINLAYSON, C. M. & WATERMAN, P. (1999) - Predicted climate change, sea-level rise and wetland management in the Australian wet-dry tropics. *Wetlands Ecology and Management* **7** (1-2): 63-81.
- FRANCO, J.A. (1971) - *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)*. Volume I, Lycopodeaceae-umbelliferae. Lisboa, Portugal: Author's edition, 648p.
- FRANCO, J.A. (1984) - *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)*. Volume II., Clethraceae-Compositae. Lisboa, Portugal: Author's edition, 660p.
- FRANCO, J.A. & ROCHA AFONSO, M.L. (1994) - *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)*. Volume. III (Fasc. 1), Lisboa, Portugal: Escolar Editora, 181p.
- FRANCO, J.A. & ROCHA AFONSO, M.L. (1998) - *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)*. Volume. III (Fasc. 2), Lisboa, Portugal: Escolar Editora, 283p.
- FRANCO, J.A. & ROCHA AFONSO, M.L. (2003) - *Nova Flora de Portugal (Continente e Açores)*. Volume. III (Fasc. 3), Lisboa, Portugal: Escolar Editora, 198p.
- HANSOM, J. D. (2001) - Coastal sensitivity to environmental change: a view from the beach. *Catena* **42**: 291-305.
- HOFFMAN, J. S. (1984) - Estimates of future sea level rise, p. 79-104. In BARTH, M. C. & TITUS, J. G. (eds.), *Greenhouse Effect and Sea Level Rise. A Challenge for this Generation*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

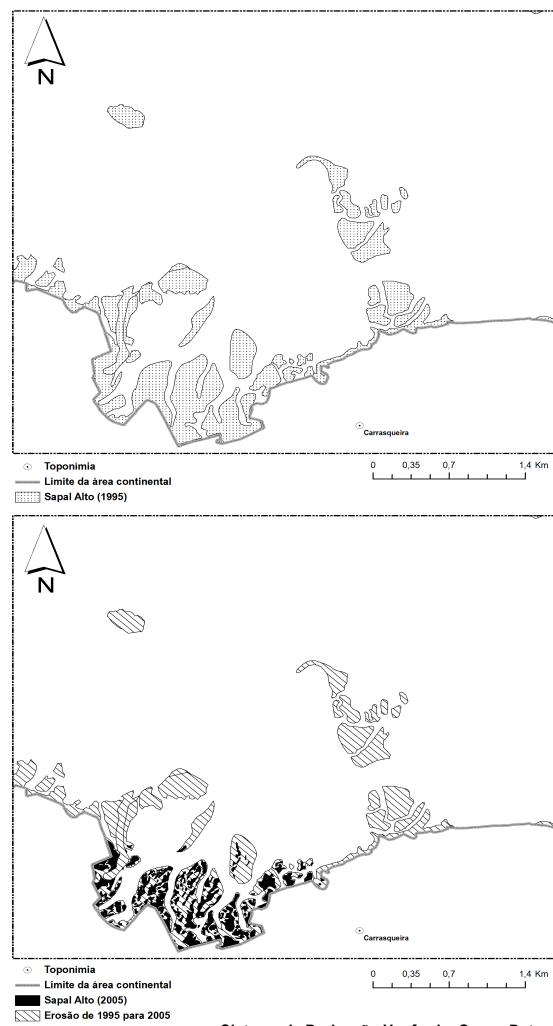


- IPCC (2007) - *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Full report*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- KUMAR, P. K. D. (2006) - Potential Vulnerability Implications of Sea Level Rise For the Coastal Zones of Cochin, Southwest Coast of India. *Environmental Monitoring and Assessment* **123**: 333-344.
- LYNCH, J. C.; OMERIWETHER, J. R.; MCKEE, B. A.; VERA-HERRERA, F. & TWILLEY, R. R. (1989) - Recent accretion in mangrove ecosystems based on  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$ . *Estuaries* **12**: 284-299.
- MILLER, W. D.; NEUBAUER, S. C. & ANDERSON, I. C. (2001) - Effects of Sea Level Induced Disturbances on High Salt Marsh Metabolism. *Estuaries* **24** (3): 357-367.
- MILLER, W. D.; NEUBAUER, S. C. & ANDERSON, I. C. (2001) - Effects of Sea Level Induced Disturbances on High Salt Marsh Metabolism. *Estuaries* **24** (3): 357-367.
- MILLIMAN, J. D. & HAQ, B. U. (1996) - Sea level rise and coastal subsidence: Towards meaningful strategies, p. 1-9. In MILLIMAN, J. D. & HAQ, B. U. (eds.), *Sea Level Rise and Coastal Subsidence: Causes Consequences and Strategies*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands.
- MOREIRA, E. (1992) - Recent Saltmarsh Changes and Sedimentation Rates in the Sado Estuary. *Journal of Coastal Research* **8** (3): 631-640.
- MOREIRA, M. E. (1986) - Man-made disturbances of the Portuguese Salt-marshes, *Thalassas* **4** (51): 43-47.
- MOREIRA, M. E. (1987) - Estudo fitogeográfico do ecossistema de sapal do Estuário do Sado. *Finisterra* **22** (44): 247-303.
- MUH ARIS MARFAI & LORENZ KING (2008) - Potential vulnerability implications of coastal inundation due to sea level rise for the coastal zone of Semarang city, Indonesia. *Environmental Geology* **54**: 1235-1245.
- NETO, C. (2000) - Circulação do ar na Península de Tróia e Costa de Galé. *Finisterra*, **35** (70): 41-55.
- NETO, C.; MOREIRA, E. & CARAÇA, R. M. (2005) - Landscape Ecology of the Sado River Estuary (Portugal). *Quercetea* **7**: 43-64.
- NORDSTROM, J. N. L. K. F.; ELIOT, I. & MASSELINK, G. (2002) - Lowenergy's sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology* **48**: 147-162.
- ÓSCAR, F.; DIAS, J. A. & TABORDA, R. (2008) - Implications of Sea-Level Rise for Continental Portugal. *Journal of Coastal Research* **24** (2): 317-324.
- PETHICK, J. S. (1981) - Long-term accretion rates on tidal salt marshes. *Journal of Sedimentary Petrology* **51**: 571-577.
- PSUTY, N. & MOREIRA, E. (2001) - Holocene Sedimentation and Sea Level Rise in the Sado Estuary. *Portugal Journal of Coastal Research* **16** (1) 125-138.
- ROOTH, J. E.; STEVENSON, J. C. & CORNWELL, J. C. (2003) - Increased sediment accretion rates following evasion by *Phragmites australis*: The role of litter. *Estuaries* **26** (2B): 475-483.

- STEVENSON, J. C.; WARD, L. J. & KEARNEY, M. S. (1986) - Vertical accretion in marshes with varying rates of sea level rise, p. 241-259. In WOLFE, D. A. (ed.), *Estuarine Variability*. Academic.
- TABORDA, R., & DIAS, J. A. (1989) -Tide-gauge data in deducing sea level rise and crustal movements rate: the Portuguese case- IGU-CEE Annual Regional Symposium Guide Book. Lisbon.
- VAFEIDIS, A. T.; NICHOLLS, R. J.; MCFADDEN, L.; TOL, R. S. J.; HINKEL, J.; SPENCER, T.; GRASHOFF, P. S.; BOOT, G. & KLEIN, R. J. T. (2008) - A New Global Coastal Database for Impact and Vulnerability. Analysis to Sea-Level Rise. *Journal of Coastal Research* **24** (4): 917-924.
- VAN WIJNEN, H. J.; & BAKKER, J. P. (2001) - Long-term Surface Elevation Change in Salt Marshes:a Prediction of Marsh Response to Future Sea-Level Rise. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **52**: 381-390.
- WARRICK, R. A.; LE PROVOST, C.; MEIER, M. F.; OERLEMANS, J.; & WOODWORTH, P. L. (1996) - Changes in sea level, p. 359-405. In HOUGHTON, J. T.; MIERA FILHO, L. G.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A. & MASKELL, K. (eds.). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.
- WOLTERS, M.; BAKKER, J. P.; BERTNESS, M. D.; JEFFERIES, R. L. & MÖLLER, I. (2005) - Saltmarsh erosion and restoration in south-east England: squeezing the evidence requires realignment. *J. Appl. Ecol.* **42**: 844-851.
- WU, S.; YARNAL, B. & FISHER, A. (2002) - Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA. *Climate Research* **22**: 255-2.

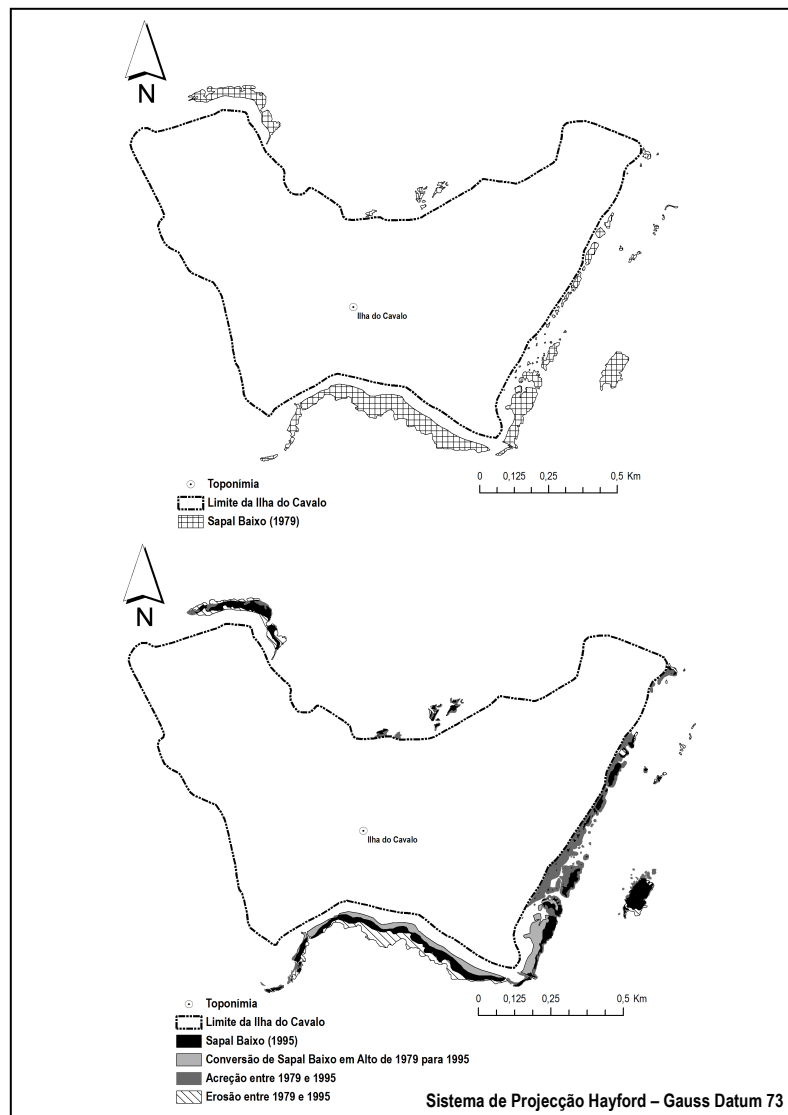


**Figura 1** – Localização da área de estudo, dos sectores analisados (Comporta (1), Carrasqueira (2) e Ilha do Cavalo (3)) e orientação da ondulação (A e B – Ondulação lagunar lagoonal seich; C - Ondulação do sector oceânico da Península de Tróia).

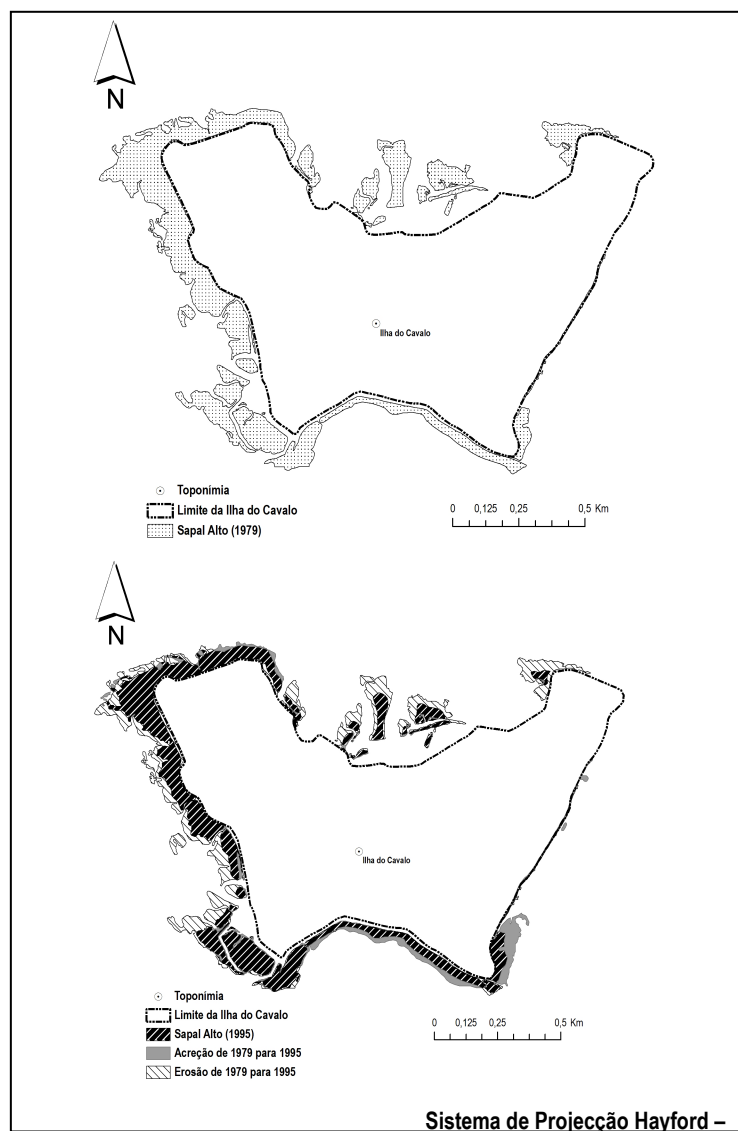


Sistema de Projecção Hayford – Gauss Datum 73

**Figura 2** – Dinâmica do sapal alto (1995-2005) – Carrasqueira.



**Figura 3** – Dinâmica do sapal baixo (1979-1995) - Ilha do Cavalo.



**Figura 4 – Dinâmica do sapal alto (1979-1995) - Ilha do Cavalo.**